



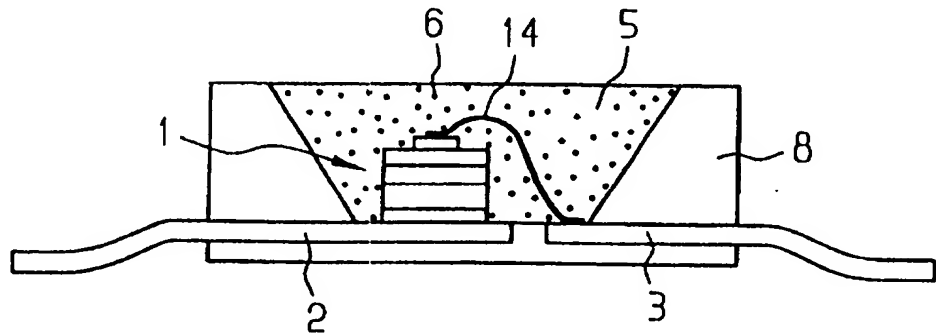
<p>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :  <b>H01L 33/00, H01S 3/19</b></p>	<b>A1</b>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 98/12757</b></p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>26. März 1998 (26.03.98)</b></p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/DE97/02139</b></p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: <b>22. September 1997 (22.09.97)</b></p> <p>(30) Prioritätsdaten:  <b>196 38 667.5      20. September 1996 (20.09.96)    DE</b></p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</b></p> <p>(72) Erfinder; und                  (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): <b>HÖHN, Klaus [DE/DE]; Pater-Rupert-Mayer-Weg 5, D-82024 Taufkirchen (DE). DEBRAY, Alexandra [DE/DE]; Grünbeckstrasse 8, D-93049 Regensburg (DE). SCHLOTTER, Peter [DE/DE]; Kammentalstrasse 8A, D-79113 Freiburg (DE). SCHMIDT, Ralf [DE/DE]; Mühlenstrasse 14, D-79279 Vörstetten (DE). SCHNEIDER, Jürgen [DE/DE]; Neuhaeuser Strasse 62, D-79199 Kirchzarten (DE).</b></p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: <b>BR, CN, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</b></p> <p><b>Veröffentlicht</b>  <i>Mit internationalem Recherchenbericht.                  Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>	

(54) Title: **SEALING MATERIAL WITH WAVELENGTH CONVERTING EFFECT, APPLICATION AND PRODUCTION PROCESS**

(54) Bezeichnung: **WELLENLÄNGENKONVERTIERENDE VERGUSSMASSE, DEREN VERWENDUNG UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG**

**(57) Abstract**

The present invention pertains to a sealing material (5) with wavelength converting effect, obtained by mixing epoxy cast resin with a luminescent substance and intended for use in an electroluminescent building component comprising a body (1) emitting an ultraviolet light, blue or green, and spraying in the epoxy cast resin a powder of inorganic luminescent pigments (6) from the phosphor group of general formula  $A_3B_5X_{12}M$ , with a grain size  $\leq 10 \mu m$  and a grain diameter  $d_{50} \leq 5 \mu m$ .



**(57) Zusammenfassung**

Wellenlängenkonvertierende Vergussmasse (5) auf der Basis eines transparenten Epoxidgießharzes, das mit einem Leuchtstoff versetzt ist, für ein elektrolumineszierendes Bauelement mit einem ultravioletten, blauen oder grünen Licht aussendenden Körper (1). Im transparenten Epoxidgießharz ist ein anorganisches Leuchtstoffpigmentpulver mit Leuchtstoffpigmenten (6) aus der Gruppe der Phosphore mit der allgemeinen Formel  $A_3B_5X_{12}M$  dispergiert und die Leuchtstoffpigmente weisen Korngrößen  $\leq 10 \mu m$  und einen mittleren Korndurchmesser  $d_{50} \leq 5 \mu m$  auf.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

Wellenlängenkonvertierende Vergußmasse, deren Verwendung und Verfahren zu deren Herstellung

5

Die Erfindung betrifft eine wellenlängenkonvertierende Vergußmasse auf der Basis eines transparenten Epoxidgießharzes, das mit einem Leuchtstoff versetzt ist, insbesondere für die Verwendung bei einem elektrolumineszierenden Bauelement mit einem ultravioletten, blaues oder grünes Licht aussendenden Körper.

10

Ein derartiges Bauelement ist beispielsweise aus der Offenlegungsschrift DE 38 04 293 bekannt. Darin ist eine Anordnung mit einer Elektrolumineszenz- oder Laserdiode beschrieben, bei der das von der Diode abgestrahlte Emissionsspektrum mittels eines mit einem fluoreszierenden, lichtwandelnden organischen Farbstoff versetzten Elements aus Kunststoff zu größeren Wellenlängen hin verschoben wird. Das von der Anordnung abgestrahlte Licht weist dadurch eine andere Farbe auf als das von der Leuchtdiode ausgesandte. Abhängig von der Art des dem Kunststoff beigefügten Farbstoffes lassen sich mit ein und demselben Leuchtdiodentyp Leuchtdiodenanordnungen herstellen, die in unterschiedlichen Farben leuchten.

15

20

In vielen potentiellen Anwendungsgebieten für Leuchtdioden, wie zum Beispiel bei Anzeigeelementen im Kfz-Armaturenbereich, Beleuchtung in Flugzeugen und Autos und bei vollfarbtauglichen LED-Displays, tritt verstärkt die Forderung nach Leuchtdiodenanordnungen auf, mit denen sich mischfarbiges Licht, insbesondere weißes Licht erzeugen läßt.

30

Die bislang bekannten Vergußmassen der eingangs genannten Art mit organischen Leuchtstoffen zeigen bei Temperatur- und Temperatur-Feuchtebeanspruchung jedoch eine Verschiebung des Farb-

tes, also des Farbe des vom elektrolumineszierenden Bauelement abgestrahlten Lichtes.

In JP-07 176 794-A ist eine weißes Licht aussendende planare  
5 Lichtquelle beschrieben, bei der an einer Stirnseite einer  
transparenten Platte zwei blaues Licht emittierende Dioden an-  
geordnet sind, die Licht in die transparente Platte hinein aus-  
senden. Die transparente Platte ist auf einer der beiden einan-  
der gegenüberliegenden Hauptflächen mit einer fluoreszierenden  
10 Substanz beschichtet, die Licht emittiert, wenn sie mit dem  
blauen Licht der Dioden angeregt wird. Das von der fluoreszie-  
renden Substanz emittierte Licht hat eine andere Wellenlänge  
als das von den Dioden emittierte blaue Licht. Bei diesem be-  
kannten Bauelement ist es besonders schwierig, die fluoreszie-  
15 rende Substanz in einer Art und Weise aufzubringen, daß die  
Lichtquelle homogenes weißes Licht abstrahlt. Darüber hinaus  
bereitet auch die Reproduzierbarkeit in der Massenfertigung  
große Probleme, weil schon geringe Schichtdickenschwankungen  
der fluoreszierenden Schicht, z. B. aufgrund von Unebenheiten  
20 der Oberfläche der transparenten Platte, eine Änderung des  
Weißtones des abgestrahlten Lichtes hervorruft.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine  
Vergußmasse der eingangs genannten Art zu entwickeln, mit der  
25 elektrolumineszierende Bauelemente hergestellt werden können,  
die homogenes mischfarbiges Licht abstrahlen und die eine Mas-  
senfertigung mit vertretbarem technischen Aufwand und mit wei-  
testgehend reproduzierbarer Bauelementcharakteristik ermög-  
licht. Das abgestrahlte Licht soll auch bei Temperatur- und  
30 Temperatur-Feuchtebeanspruchung farbstabil sein. Desweiteren  
soll ein Verfahren zum Herstellen dieser Vergußmasse angegeben  
werden.

Diese Aufgabe wird durch eine Vergußmasse mit den Merkmalen des  
35 Anspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen und Verwen-

dungen der Vergußmasse sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 11 bzw. 12 bis 16.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß im transparenten Epoxid-  
5 gießharz ein anorganisch-mineralisches Leuchtstoffpigmentpulver auf der Basis eines Granatwirtsgitters mit der allgemeinen Formel  $A_3B_5X_{12}:M$  dispergiert sind und daß die Leuchtstoffpigmente Korngrößen  $\leq 20 \mu m$  und einen mittleren Korndurchmesser  $d_{50} \leq 5 \mu m$  aufweisen. Besonders bevorzugt liegt der mittlere Korndurch-  
10 messer  $d_{50}$  zwischen 1 und 2  $\mu m$ . Bei diesen Korngrößen können günstige Fertigungsausbeuten erhalten werden.

Anorganisch-mineralische Leuchtstoffe sind vorteilhafterweise äußerst temperatur- und temperatur-feuchtestabil.

15

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vergußmasse setzt sich diese zusammen aus:

- a) Epoxidgießharz  $\geq 60$  Gew%
- b) Leuchtstoffpigmente  $\leq 25$  Gew%
- 20 c) Thixotropiermittel  $\leq 10$  Gew%
- d) mineralischem Diffusor  $\leq 10$  Gew%
- e) Verarbeitungshilfsmittel  $\leq 3$  Gew%
- f) Hydrophobiermittel  $\leq 3$  Gew%
- g) Haftvermittler  $\leq 2$  Gew%.

25

Geeignete Epoxidgießharze sind beispielsweise in der DE-OS 26  
42 465 auf den Seiten 4 bis 9, insbesondere Beispiele 1 bis 4,  
und in der EP 0 039 017 auf den Seiten 2 bis 5, insbesondere  
Beispiele 1 bis 8, beschrieben, deren Offenbarungsgehalt hier-  
30 mit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Als Thixotropiermittel ist beispielsweise pyrogene Kieselsäure verwendet. Das Thixotropiermittel dient zur Eindickung des Epoxidgießharzes, um die Sedimentation des Leuchtpigmentpulvers

zu vermindern. Für die Gießharzverarbeitung werden weiter die Fließ- und Benetzungseigenschaften eingestellt.

Als mineralischer Diffusor zur Optimierung des Leuchtbildes des Bauelements ist bevorzugt  $\text{CaF}_2$  verwendet.

Als Verarbeitungshilfsmittel eignet sich beispielsweise Glykolether. Es verbessert die Verträglichkeit zwischen Epoxidgießharz und Leuchtpigmentpulver und dient damit zur Stabilisierung der Dispersion Leuchtpigmentpulver - Epoxidgießharz. Zu diesem Zweck können auch Oberflächenmodifikatoren auf Silikonbasis eingesetzt werden.

Das Hydrophobiermittel, z. B. flüssiges Silikonwachs, dient ebenfalls zur Modifikation der Pigmentoberfläche, insbesondere wird die Verträglichkeit und Benetzbarkeit der anorganischen Pigmentoberfläche mit dem organischen Harz verbessert.

Der Haftvermittler, z. B. funktionelles Alkoxysiloxan, verbessert die Haftung zwischen den Pigmenten und dem Epoxidharz im ausgehärteten Zustand der Vergußmasse. Dadurch wird erreicht, daß die Grenzfläche zwischen dem Epoxidharz und den Pigmenten z. B. bei Temperaturschwankungen nicht abreißt. Spalte zwischen dem Epoxidharz und den Pigmenten würden zu Lichtverlusten im Bauelement führen.

Das Epoxidgießharz, bevorzugt mit einem reaktiven Oxirandring, enthält vorzugsweise ein mono- und/oder ein multifunktionelles Epoxidgießharzsystem ( $\geq 80$  Gew%; z. B. Bisphenol-A-Diglycidylether), einen Reaktivverdünner ( $\leq 10$  Gew%; z. B. aromatischer Monoglycidylether), einen multifunktionellen Alkohol ( $\leq 5$  Gew%), ein Entgasungsmittel auf Silikonbasis ( $\leq 1$  Gew%) und eine Entfärbungskomponente zur Einstellung der Farbzahl ( $\leq 1$  Gew%).

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung des Vergusses sind die Leuchtstoffpigmente kugelförmig oder schuppenförmig. Die Neigung zur Agglomeratbildung derartiger Pigmente ist vorteilhafterweise sehr gering. Der H<sub>2</sub>O-Gehalt liegt unter 2%.

5

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Epoxidgießharzkomponenten mit anorganischen Leuchtstoffpigmentpulvern treten im allgemeinen neben Benetzungs- auch Sedimentationsprobleme auf. Besonders Leuchtstoffpigmentpulver mit  $d_{50} \leq 5 \mu\text{m}$  neigen stark zur Agglomeratbildung. Bei der zuletzt genannten Zusammensetzung der Vergußmasse können die Leuchtstoffpigmente vorteilhafterweise in der oben angegebenen Korngröße im Wesentlichen agglomeratfrei und homogen in das Epoxidgießharz dispergiert werden. Diese Dispersion ist auch bei längerer Lagerung der Vergußmasse stabil. Es treten im Wesentlichen keine Benetzungs- und/oder Sedimentationsprobleme auf.

Besonders bevorzugt sind als Leuchtstoffpigmente Partikel aus der Gruppe der Ce-dotierten Granate, insbesondere YAG:Ce-Partikel verwendet. Eine vorteilhafte Dotierstoffkonzentration ist beispielsweise 1% und eine vorteilhafte Leuchtstoffkonzentration beträgt beispielsweise 12%. Desweiteren weist das bevorzugt hochreine Leuchtstoffpigmentpulver vorteilhafterweise einen Eisengehalt von  $\leq 5 \text{ ppm}$  auf. Ein hoher Eisengehalt führt zu hohen Lichtverlusten im Bauelement. Das Leuchtstoffpigmentpulver ist stark abrasiv. Der Fe-Gehalt der Vergußmasse kann bei deren Herstellung daher beträchtlich ansteigen. Vorteilhaft sind Fe-Gehalte in der Vergußmasse  $< 20 \text{ ppm}$ .

Der anorganische Leuchtstoff YAG:Ce hat unter anderem den besonderen Vorteil, daß es sich hierbei um nicht lösliche Farbpigmente mit einem Brechungsindex von ca. 1,84 handelt. Dadurch treten neben der Wellenlängenkonversion Dispersion und Streueffekte auf, die zu einer guten Vermischung von blauer Diodenstrahlung und gelber Konverterstrahlung führen.

Besonders vorteilhaft ist weiterhin, dass die Leuchtstoffkonzentration im Epoxidharz bei Verwendung von anorganischen Leuchtstoffpigmenten nicht, wie bei organischen Farbstoffen, durch die Löslichkeit begrenzt wird.

Zur weiteren Verminderung der Agglomeratbildung können die Leuchtstoffpigmente vorteilhafterweise mit einem Silikon-Coating versehen sein.

10

Bei einem bevorzugten Verfahren zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Vergußmasse wird das Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz z. B. ca. 10 Stunden bei einer Temperatur  $\geq 200^{\circ}\text{C}$  getempert. Dadurch kann ebenfalls die Neigung zu Agglomeratbildung verringert werden.

15

Alternativ oder zusätzlich kann dazu das Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz in einem höher siedenden Alkohol geschlämmt und anschließend getrocknet wird.

20

Eine weitere Möglichkeit die Agglomeratbildung zu verringern besteht darin, dem Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz ein hydrophobierendes Silikonwachs zuzugeben. Besonders vorteilhaft ist die Oberflächenstabilisierung der Phosphore durch erwärmen der Pigmente in Gegenwart von Glykolethern, z. B. 16 h bei  $T > 60^{\circ}\text{C}$ .

25

Zur Vermeidung störender Verunreinigungen beim Dispergieren der Leuchtstoffpigmente, verursacht durch Abrieb, werden Reaktionsgefäße, Rühr- und Dispergiervorrichtungen sowie Walzwerke aus Glas, Korund, Carbid- und Nitridwerkstoffen sowie speziell gehärtete Stahlsorten verwendet. Agglomeratfreie Leuchtstoffdispersionen werden auch in Ultraschallverfahren oder durch den Einsatz von Sieben und Glaskeramikfritten erhalten.

30

- Ein besonders bevorzugter anorganischer Leuchtstoff zur Herstellung von Weiß leuchtenden optoelektronischen Bauelementen ist der Phosphor YAG:Ce ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ ). Dieser läßt sich auf besonders einfache Weise in herkömmlich in der LED-Technik verwendeten transparenten Epoxidgießharzen mischen. Weiterhin als Leuchtstoffe denkbar sind weitere mit Seltenen Erden dotierte Granate wie z. B.  $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Y}(\text{Al},\text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  und  $\text{Y}(\text{Al},\text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Tb}^{3+}$ .
- 10 Zur Erzeugung von mischfarbigem Licht eignen sich darüberhinaus besonders die mit Seltenen Erden dotierten Thiogallate wie z. B.  $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}^{3+}$  und  $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}^{3+}$ . Ebenso ist hierzu die Verwendung von mit Seltenen Erden dotierten Aluminaten wie z. B.  $\text{YAlO}_3:\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{YGaO}_3:\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Y}(\text{Al},\text{Ga})\text{O}_3:\text{Ce}^{3+}$  und mit Seltenen Erden dotierten Orthosilikaten  $\text{M}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$  (M: Sc, Y, Sc) wie z. B.  $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$  denkbar. Bei allen Yttriumverbindungen kann das Yttrium im Prinzip auch durch Scandium oder Lanthan ersetzt werden.
- 20 Bevorzugt wird die erfindungsgemäße Vergußmasse bei einem strahlungsemittierenden Halbleiterkörper, insbesondere mit einer aktiven Halbleiterschicht oder -schichtenfolge aus  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$  oder  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ , eingesetzt, der im Betrieb eine elektromagnetische Strahlung aus dem ultravioletten, blauen und/oder grünen Spektralbereich aussendet. Die Leuchtstoffpartikel in der Vergußmasse wandeln einen Teil der aus diesem Spektralbereich stammenden Strahlung in Strahlung mit größerer Wellenlänge um, derart, daß das Halbleiterbauelement Mischstrahlung, insbesondere mischfarbiges Licht, bestehend aus dieser Strahlung und
- 25 aus Strahlung aus dem ultravioletten, blauen und/oder grünen Spektralbereich aussendet. Das heißt beispielsweise, daß die Leuchtstoffpartikel einen Teil der vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung spektral selektiv absorbiert und im längerwelligen Bereich emittiert. Bevorzugt weist die von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung bei einer Wellenlänge  $\lambda \leq$
- 30  
35

520 nm ein relatives Intensitätsmaximum auf und liegt der von den Leuchtstoffpartikeln spektral selektiv absorbierte Wellenlängenbereich außerhalb dieses Intensitätsmaximums.

5 Ebenso können vorteilhafterweise auch mehrere verschiedenartige Leuchtstoffpartikelarten, die bei unterschiedlichen Wellenlängen emittieren, in der Vergußmasse dispergiert sein. Dies wird bevorzugt durch unterschiedliche Dotierungen in unterschiedlichen Wirtsgittern erreicht. Dadurch ist es vorteilhafterweise  
10 möglich, vielfältige Farbmischungen und Farbtemperaturen des vom Bauelement emittierten Lichtes zu erzeugen. Von besonderem Interesse ist dies für vollfarbtaugliche LEDs.

Bei einer bevorzugten Verwendung der erfindungsgemäßen Verguß-  
15 masse ist ein strahlungsemittierender Halbleiterkörper (z. B. ein LED-Chip) zumindest teilweise von dieser umschlossen. Die Vergußmasse ist dabei bevorzugt gleichzeitig als Bauteilumhüllung (Gehäuse) genutzt. Der Vorteil eines Halbleiterbauelements gemäß dieser Ausführungsform besteht im wesentlichen darin, daß  
20 zu seiner Herstellung konventionelle, für die Herstellung von herkömmlichen Leuchtdioden (z. B. Radial-Leuchtdioden) eingesetzte Produktionslinien verwendet werden können. Für die Bauteilumhüllung wird anstelle des bei herkömmlichen Leuchtdioden dafür verwendeten transparenten Kunststoffes einfach die Ver-  
25 gußmasse verwendet.

Mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse kann auf einfache Weise mit einer einzigen farbigen Lichtquelle, insbesondere einer Leuchtdiode mit einem einzigen blaues Licht abstrahlenden Halb-  
30 leiterkörper, mischfarbiges, insbesondere weißes Licht erzeugt werden. Um z. B. mit einem blaues Licht aussendenden Halbleiterkörper weißes Licht zu erzeugen, wird ein Teil der von dem Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung mittels anorganischer Leuchtstoffpartikel aus dem blauen Spektralbereich in den zu  
35 Blau komplementärfarbigem gelben Spektralbereich konvertiert.

Die Farbtemperatur oder Farbort des weißen Lichtes kann dabei durch geeignete Wahl des Leuchtstoffes, dessen Partikelgröße und dessen Konzentration, variiert werden. Darüber hinaus können auch Leuchtstoffmischungen eingesetzt werden, wodurch sich vorteilhafterweise der gewünschte Farbton des abgestrahlten Lichtes sehr genau einstellen läßt.

Besonders bevorzugt wird die Vergußmasse bei einem strahlungsemitierenden Halbleiterkörper verwendet, bei dem das ausgesandte Strahlungsspektrum bei einer Wellenlänge zwischen 420nm und 460 nm, insbesondere bei 430 nm (z. B. Halbleiterkörper auf der Basis von  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ ) oder 450 nm (z. B. Halbleiterkörper auf der Basis von  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ ) ein Intensitätsmaximum aufweist. Mit einem derartigen Halbleiterbauelement lassen sich vorteilhafterweise nahezu sämtliche Farben und Mischfarben der C.I.E.-Farbtafel erzeugen. An Stelle des strahlungsemitierenden Halbleiterkörpers aus elektrolumineszierendem Halbleitermaterial kann aber auch ein anderes elektrolumineszierendes Material, wie beispielsweise Polymermaterial, eingesetzt werden.

Besonders geeignet ist die Vergußmasse für ein lichtemittierendes Halbleiterbauelement (z. B. eine Leuchtdiode), bei dem der elektrolumineszierende Halbleiterkörper in einer Ausnehmung eines vorgefertigten eventuell bereits mit einem Leadframe versehenen Gehäuses angeordnet ist und die Ausnehmung mit der Vergußmasse versehen ist. Ein derartiges Halbleiterbauelement läßt sich in großer Stückzahl in herkömmlichen Produktionslinien herstellen. Hierzu muß lediglich nach der Montage des Halbleiterkörpers in das Gehäuse die Vergußmasse in die Ausnehmung gefüllt werden.

Ein weißes Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement läßt sich mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse vorteilhafterweise dadurch herstellen, daß der Leuchtstoff so gewählt wird, daß eine von dem Halbleiterkörper ausgesandte blaue Strahlung in komple-

mentäre Wellenlängenbereiche, insbesondere Blau und Gelb, oder zu additiven Farbtripeln, z. B. Blau, Grün und Rot umgewandelt wird. Hierbei wird das gelbe bzw. das grüne und rote Licht über die Leuchtstoffe erzeugt. Der Farbton (Farbort in der CIE-

5 Farbtabelle) des dadurch erzeugten weißen Lichts kann dabei durch geeignete Wahl des/der Leuchtstoffes/e hinsichtlich Mischung und Konzentration variiert werden.

Um die Durchmischung der von einem elektrolumineszierenden Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung mit der vom Leuchtstoff konvertierten Strahlung und damit die Farbhomogenität des vom Bauelement abgestrahlten Lichtes zu verbessern, ist bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vergußmasse zusätzlich ein im Blauen lumineszierender Farbstoff zugefügt, 15 der eine sogenannte Richtcharakteristik der von dem Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung abschwächt. Unter Richtcharakteristik ist zu verstehen, daß die von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung eine bevorzugte Abstrahlrichtung aufweist.

20 Ein weißes Licht abstrahlendes erfindungsgemäßes Halbleiterbauelement mit einem blaues Licht emittierenden elektrolumineszierenden Halbleiterkörper läßt sich besonders bevorzugt dadurch realisieren, daß dem für die Vergußmasse verwendeten Epoxidharz der anorganische Leuchtstoff YAG:Ce ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ ) beigemischt 25 ist. Ein Teil einer von dem Halbleiterkörper ausgesandten blauen Strahlung wird von dem anorganischen Leuchtstoff  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  in den gelben Spektralbereich und somit in einen zur Farbe Blau komplementärfarbigem Wellenlängenbereich verschoben. Der Farbton (Farbort in der CIE-Farbtabelle) des weißen Lichts kann dabei 30 durch geeignete Wahl der Farbstoffkonzentration variiert werden.

Der Vergußmasse können zusätzlich lichtstreuende Partikel, sogenannte Diffusoren zugesetzt sein. Hierdurch läßt sich vor-

teilhafterweise der Farbeindruck und die Abstrahlcharakteristik des Halbleiterbauelements weiter optimieren.

5 Mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse kann vorteilhafterweise auch eine von einem elektrolumineszierenden Halbleiterkörper neben der sichtbaren Strahlung ausgesandte ultraviolette Strahlung in sichtbares Licht umgewandelt werden. Dadurch wird die Helligkeit des vom Halbleiterkörper ausgesandten Lichts deutlich erhöht.

10 Ein besonderer Vorteil von erfindungsgemäßen weißes Licht abstrahlenden Halbleiterbauelementen, bei denen als Lumineszenzkonversionsfarbstoff insbesondere YAG:Ce verwendet ist, besteht darin, daß dieser Leuchtstoff bei Anregung mit blauem Licht eine spektrale Verschiebung von ca. 100 nm zwischen Absorption  
15 und Emission bewirkt. Dies führt zu einer wesentlichen Reduktion der Reabsorption des vom Leuchtstoff emittierten Lichtes und damit zu einer höheren Lichtausbeute. Außerdem besitzt YAG:Ce vorteilhafterweise eine hohe thermische und photochemische (z.  
20 B. UV-) Stabilität (wesentlich höher als organische Leuchtstoffe), so daß auch Weiß leuchtende Dioden für Außenanwendung und/oder hohe Temperaturbereiche herstellbar sind.

25 YAG:Ce hat sich bislang hinsichtlich Reabsorption, Lichtausbeute, thermischer und photochemischer Stabilität und Verarbeitbarkeit als am besten geeigneter Leuchtstoff herausgestellt. Denkbar ist jedoch auch die Verwendung von anderen Ce-dotierten Phosphoren, insbesondere Ce-dotierten Granattypen.

30 Die Wellenlängenkonversion der Primärstrahlung wird durch die Kristallfeldaufspaltung der aktiven Übergangsmetallzentren im Wirtsgitter bestimmt. Durch die Substitution von Y durch Gd und/oder Lu bzw. Al durch Ga im  $Y_3Al_5O_{12}$ -Granatgitter können die Emissionswellenlängen in unterschiedlicher Weise verschoben  
35 werden, wie außerdem durch die Art der Dotierung. Durch die

Substitution von  $\text{Ce}^{3+}$ -Zentren durch  $\text{Eu}^{3+}$  und/oder  $\text{Cr}^{3+}$  können entsprechende Shifts erzeugt werden. Entsprechende Dotierungen mit  $\text{Nd}^{3+}$  und  $\text{Er}^{3+}$  ermöglichen sogar aufgrund der größeren Ionenradien und damit geringeren Kristallfeldaufspaltungen IR-emittierende Bauelemente.

Weitere Merkmale, Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von zwei Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren 1 bis 8. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Schnittansicht eines ersten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 2 eine schematische Schnittansicht eines zweiten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 3 eine schematische Schnittansicht eines dritten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 4 eine schematische Schnittansicht eines vierten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 5 eine schematische Schnittansicht eines fünften Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 6 eine schematische Darstellung eines Emissionsspektrums eines blauen Licht abstrahlenden Halbleiterkörpers mit einer Schichtenfolge auf der Basis von GaN;

Figur 7 eine schematische Darstellung der Emissionsspektren zweier Halbleiterbauelemente mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse, die weißes Licht abstrahlen, und

Figur 8 eine schematische Darstellung der Emissionsspektren von weiteren Halbleiterbauelementen, die weißes Licht abstrahlen.

In den verschiedenen Figuren sind gleiche bzw. gleichwirkende Teile immer mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

Bei dem lichtemittierenden Halbleiterbauelement von Figur 1 ist der Halbleiterkörper 1 mittels eines elektrisch leitenden Ver-

bindungsmittels, z. B. ein metallisches Lot oder ein Klebstoff, mit seinem Rückseitenkontakt 11 auf einem ersten elektrischen Anschluß 2 befestigt. Der Vorderseitenkontakt 12 ist mittels eines Bonddrahtes 14 mit einem zweiten elektrischen Anschluß 3  
5 verbunden.

Die freien Oberflächen des Halbleiterkörpers 1 und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2 und 3 sind unmittelbar von einer gehärteten, wellenlängenkonvertierenden Vergußmasse 5 umschlossen. Diese weist bevorzugt auf: Epoxidgießharz 80 - 90 Gew%,  
10 Leuchtstoffpigmente (YAG:Ce)  $\leq 15$  Gew%, Diethylenglycolmonomethyläther  $\leq 2$  Gew%, Tegopren 6875-45  $\leq 2$  Gew%, Aerosil 200  $\leq 5$  Gew%

15 Das in Figur 2 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements unterscheidet sich von dem der Figur 1 dadurch, daß der Halbleiterkörper 1 und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2 und 3 anstatt von einer wellenlängenkonvertierenden Vergußmasse von einer transparenten  
20 Umhüllung 15 umschlossen sind. Diese transparente Umhüllung 15 bewirkt keine Wellenlängenänderung der von dem Halbleiterkörper 1 ausgesandten Strahlung und besteht beispielsweise aus einem in der Leuchtdiodentechnik herkömmlich verwendeten Epoxid-, Silikon- oder Acrylatharz oder aus einem anderen geeigneten  
25 strahlungsdurchlässigen Material wie z. B. anorganisches Glas.

Auf diese transparente Umhüllung 15 ist eine Schicht 4 aufgebracht, die aus einer wellenlängenkonvertierenden Vergußmasse, wie in der Figur 2 dargestellt, die gesamte Oberfläche der Umhüllung 15 bedeckt. Ebenso denkbar ist, daß die Schicht 4 nur  
30 einen Teilbereich dieser Oberfläche bedeckt. Die Schicht 4 besteht beispielsweise aus einem transparenten Epoxidharz, das mit Leuchtstoffpartikeln 6 versetzt ist. Auch hier eignet sich als Leuchtstoff für ein weiß leuchtendes Halbleiterbauelement  
35 bevorzugt YAG:Ce.

Bei dem in Figur 3 dargestellten besonders bevorzugten mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse versehenen Bauelement, sind der erste und zweite elektrische Anschluß 2,3 in ein lichtundurchlässiges evtl. vorgefertigtes Grundgehäuse 8 mit einer Ausnehmung 9 eingebettet. Unter „vorgefertigt“ ist zu verstehen, daß das Grundgehäuse 8 bereits an den Anschlüssen 2,3 beispielsweise mittels Spritzguß fertig ausgebildet ist, bevor der Halbleiterkörper auf den Anschluß 2 montiert wird. Das Grundgehäuse 8 besteht beispielsweise aus einem lichtundurchlässigen Kunststoff und die Ausnehmung 9 ist hinsichtlich ihrer Form als Reflektor 17 für die vom Halbleiterkörper im Betrieb ausgesandte Strahlung (ggf. durch geeignete Beschichtung der Innenwände der Ausnehmung 9) ausgebildet. Solche Grundgehäuse 8 werden insbesondere bei auf Leiterplatten oberflächenmontierbaren Leuchtdioden verwendet. Sie werden vor der Montage der Halbleiterkörper auf ein die elektrischen Anschlüsse 2,3 aufweisendes Leiterband (Leadframe) z. B. mittels Spritzgießen aufgebracht.

Die Ausnehmung 9 ist mit einer Vergußmasse 5, deren Zusammensetzung der oben in Verbindung mit der Beschreibung zu Figur 1 angegebenen entspricht, gefüllt.

In Figur 4 ist eine sogenannte Radialdiode dargestellt. Hierbei ist der elektrolumineszierende Halbleiterkörper 1 in einem als Reflektor ausgebildeten Teil 16 des ersten elektrischen Anschlusses 2 beispielsweise mittels Löten oder Kleben befestigt. Derartige Gehäusebauformen sind in der Leuchtdiodentechnik bekannt und bedürfen von daher keiner näheren Erläuterung.

Die freien Oberflächen des Halbleiterkörpers 1 sind unmittelbar von einer Vergußmasse 5 mit Leuchtstoffpartikel 6 bedeckt, die wiederum von einer weiteren transparenten Umhüllung 10 umgeben ist.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle angemerkt, daß selbstverständlich auch bei der Bauform nach Figur 4 analog zu dem Bauelement gemäß Figur 1 eine einstückige Umhüllung, bestehend aus gehärteter Vergußmasse 5 mit Leuchtstoffpartikel 6, verwendet sein kann.

Bei dem Ausführungsbeispiel von Figur 5 ist eine Schicht 4 (mögliche Materialien wie oben angegeben) direkt auf den Halbleiterkörper 1 aufgebracht. Dieser und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2,3 sind von einer weiteren transparenten Umhüllung 10 umschlossen, die keine Wellenlängenänderung der durch die Schicht 4 hindurchgetretenen Strahlung bewirkt und beispielsweise aus einem in der Leuchtdiodentechnik verwendbaren transparenten Epoxidharz oder aus Glas gefertigt ist.

Solche, mit einer Schicht 4 versehenen Halbleiterkörper 1 ohne Umhüllung können natürlich vorteilhafterweise in sämtlichen aus der Leuchtdiodentechnik bekannten Gehäusebauformen (z. B. SMD-Gehäuse, Radial-Gehäuse (man vergleiche Figur 4) verwendet sein.

Bei sämtlichen der oben beschriebenen Bauelemente kann zur Optimierung des Farbeindrucks des abgestrahlten Lichts sowie zur Anpassung der Abstrahlcharakteristik die Vergußmasse 5, ggf. die transparente Umhüllung 15, und/oder ggf. die weitere transparente Umhüllung 10 lichtstreuende Partikel, vorteilhafterweise sogenannte Diffusoren aufweisen. Beispiele für derartige Diffusoren sind mineralische Füllstoffe, insbesondere  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  oder  $\text{BaSO}_4$  oder auch organische Pigmente. Diese Materialien können auf einfache Weise Epoxidharzen zugesetzt werden.

In den Figuren 6, 7 und 8 sind Emissionsspektren eines blaues Licht abstrahlenden Halbleiterkörpers (Fig. 6) (Lumineszenzmaximum bei  $\lambda \sim 430 \text{ nm}$ ) bzw. von mittels eines sol-

chen Halbleiterkörpers hergestellten Weiß leuchtenden Halbleiterbauelementen (Fig. 7 und 8) gezeigt. An der Abszisse ist jeweils die Wellenlänge  $\lambda$  in nm und auf der Ordinate ist jeweils eine relative Elektrolumineszenz (EL)-Intensität aufgetragen.

5

Von der vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung nach Figur 6 wird nur ein Teil in einen längerwelligen Wellenlängenbereich konvertiert, so daß als Mischfarbe weißes Licht entsteht. Die gestrichelte Linie 30 in Figur 7 stellt ein Emissionsspektrum von einem Halbleiterbauelement dar, das Strahlung aus zwei komplementären Wellenlängenbereichen (Blau und Gelb) und damit insgesamt weißes Licht aussendet. Das Emissionsspektrum weist hier bei Wellenlängen zwischen ca. 400 und ca. 430 nm (Blau) und zwischen ca. 550 und ca. 580 nm (Gelb) je ein Maximum auf. Die durchgezogene Linie 31 repräsentiert das Emissionsspektrum eines Halbleiterbauelements, das die Farbe Weiß aus drei Wellenlängenbereichen (additives Farbtupel aus Blau, Grün und Rot) mischt. Das Emissionsspektrum weist hier beispielsweise bei den Wellenlängen von ca. 430 nm (Blau), ca. 500 nm (Grün) und ca. 615 nm (Rot) je ein Maximum auf.

20

Figur 8 zeigt ein Emissionsspektrum eines Weiß leuchtendes Halbleiterbauelement, das mit einem ein Emissions-Spektrum gemäß Figur 6 aussendenden Halbleiterkörper versehen ist und bei dem als Leuchtstoff YAG:Ce verwendet ist. Von der vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung nach Figur 6 wird nur ein Teil in einen längerwelligen Wellenlängenbereich konvertiert, so daß als Mischfarbe weißes Licht entsteht. Die verschiedenartig gestrichelten Linien 30 bis 33 von Figur 8 stellen Emissionsspektren von erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementen dar, bei denen das Epoxidharz der Vergußmasse 5 unterschiedliche YAG:Ce-Konzentrationen aufweist. Jedes Emissionsspektrum weist zwischen  $\lambda = 420$  nm und  $\lambda = 430$  nm, also im blauen Spektralbereich, und zwischen  $\lambda = 520$  nm und  $\lambda = 545$  nm, also im grünen Spektralbereich, jeweils ein Intensitätsmaximum auf, wobei die

25

30

35

Emissionsbanden mit dem längerwelligen Intensitätsmaximum zu einem großen Teil im gelben Spektralbereich liegen. Das Diagramm von Figur 12 verdeutlicht, daß bei dem erfindungsgemäßen Halbleiterbauelement auf einfache Weise durch Veränderung der Leuchtstoffkonzentration im Epoxidharz der CIE-Farbwert des weißen Lichtes verändert werden kann.

Die Erläuterung der Erfindung anhand der oben beschriebenen Bauelemente ist natürlich nicht als Beschränkung der Erfindung auf diese zu betrachten. Als Halbleiterkörper, wie beispielsweise Leuchtdioden-Chips oder Laserdioden-Chips, ist beispielsweise auch eine Polymer-LED zu verstehen, die ein entsprechendes Strahlungsspektrum aussendet.

## Patentansprüche

1. Wellenlängenkonvertierende Vergußmasse (5) auf der Basis eines transparenten Epoxidgießharzes, das mit einem Leuchtstoff versetzt ist, für ein elektrolumineszierendes Bauelement mit einem ultravioletten, blaues oder grünes Licht aussendenden Körper (1),  
dadurch gekennzeichnet, daß im transparenten Epoxidgießharz ein anorganisches Leuchtstoffpigmentpulver mit Leuchtstoffpigmenten (6) aus der Gruppe der Phosphore mit der allgemeinen Formel  $A_3B_5X_{12}:M$  dispergiert ist und daß die Leuchtstoffpigmente Korngrößen  $\leq 20 \mu m$  und einen mittleren Korndurchmesser  $d_{50} \leq 5 \mu m$  aufweisen.
2. Vergußmasse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Leuchtstoffpigmente (6) kugelförmig oder schuppenförmig sind.
3. Vergußmasse nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Korndurchmesser  $d_{50}$  der Leuchtstoffpigmente (6) zwischen 1 und  $2 \mu m$  liegt.
4. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergußmasse (5) zusammengesetzt ist aus:
- a) Epoxidgießharz  $\geq 60$  Gew%
  - b) Leuchtstoffpigmente  $> 0$  und  $\leq 25$  Gew%
  - c) Thixotropiermittel  $> 0$  und  $\leq 10$  Gew%
  - d) mineralischem Diffusor  $> 0$  und  $\leq 10$  Gew%
  - e) Verarbeitungshilfsmittel  $> 0$  und  $\leq 3$  Gew%
  - f) Hydrophobiermittel  $> 0$  und  $\leq 3$  Gew%
  - g) Haftvermittler  $> 0$  und  $\leq 2$  Gew%.

5. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Leuchtstoffpigmente Partikel aus der Gruppe der Ce-dotierten Granate verwendet sind.

5 6. Vergußmasse nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Leuchtstoffpigmente YAG:Ce-Partikel verwendet sind.

10 7. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß deren Eisengehalt  $\leq 20\text{ppm}$  ist.

8. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Leuchtstoffpigmente (6) mit einem Silikon-Coating versehen sind.

15 9. Verfahren zum Herstellen einer Vergußmasse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz bei einer Temperatur  $\geq 200^\circ\text{C}$  getempert wird.

20 10. Verfahren zum Herstellen einer Vergußmasse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz in einem höher siedenden Alkohol geschlämmt und anschließend getrocknet wird.

25 11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß dem Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz ein hydrophobierendes Silikonwachs zugegeben wird.

30 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Leuchtstoffpigmentpulver mit Alkoholen, Glykolethern und Silikonen im Epoxidgießharz bei erhöhten Temperaturen oberflächenmodifiziert wird.

35

13. Verwendung der Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 12 in einem lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement mit einem Halbleiterkörper (1), der im Betrieb des Halbleiterbauelements elektromagnetische Strahlung aussendet  
5 dadurch gekennzeichnet,  
daß der Halbleiterkörper (1) eine Halbleiterschichtenfolge (7) aufweist, die geeignet ist, im Betrieb des Halbleiterbauelements elektromagnetische Strahlung aus dem ultravioletten,  
10 blauen und/oder grünen Spektralbereich auszusenden,  
daß die Leuchtstoffpigmente einen Teil der aus diesem Spektralbereich stammenden Strahlung in Strahlung mit größerer Wellenlänge umwandelt, derart, daß das Halbleiterbauelement Mischstrahlung, insbesondere mischfarbiges Licht, bestehend aus die-  
15 ser Strahlung und aus Strahlung aus dem ultravioletten, blauen und/oder grünen Spektralbereich aussendet.
14. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergußmasse zumin-  
20 dest einen Teil des Halbleiterkörpers (1) umschließt.
15. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 13 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die vom Halbleiterkörper (1) ausgesandte Strahlung im blauen Spektralbereich bei  $\lambda = 430 \text{ nm}$  oder bei  $\lambda = 450 \text{ nm}$  ein Lumineszenz-  
25 Intentsitätsmaximum aufweist.
16. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiterkörper (1) in einer Ausnehmung (9) eines lichtundurchlässigen Grundgehäuses (8) angeordnet ist und daß die Ausnehmung (9) zumindest teilweise mit der Vergußmasse (5) gefüllt.  
30

17. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergußmasse (5) hinsichtlich Wirtsgitter und Art und Ausmaß der Dotierung mit verschiedenartigen Leuchtstoffpigmenten (6) versehen ist.

5

1/4

FIG 1

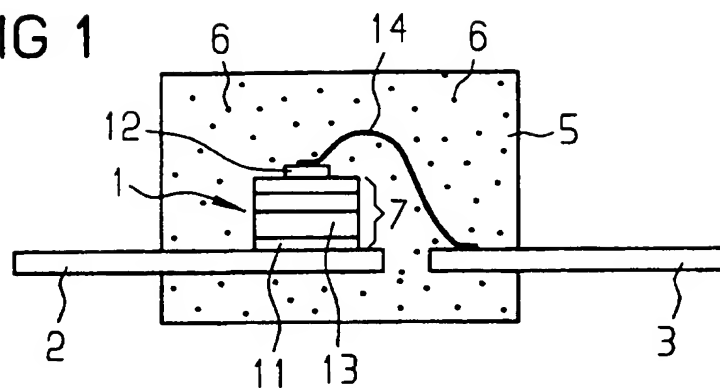


FIG 2

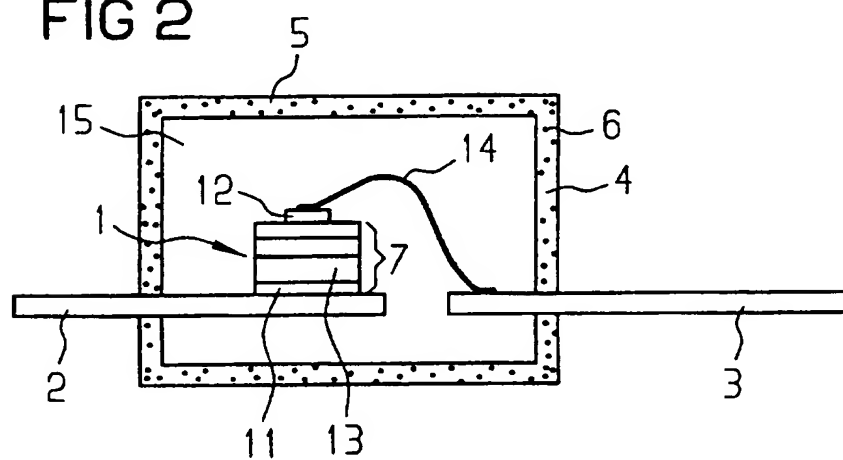
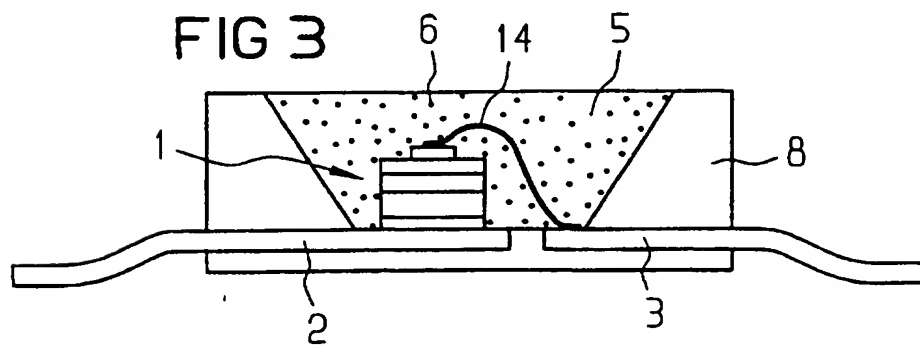


FIG 3



2/4

FIG 4

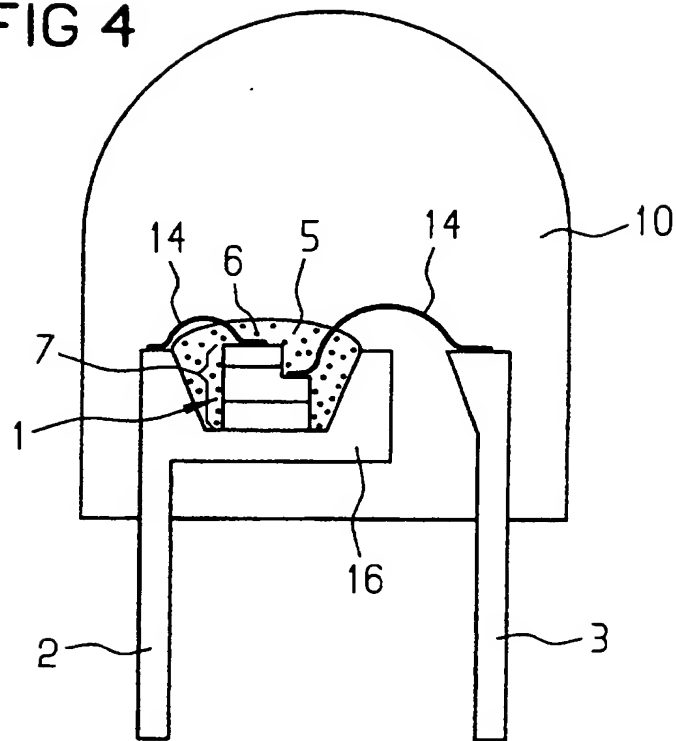
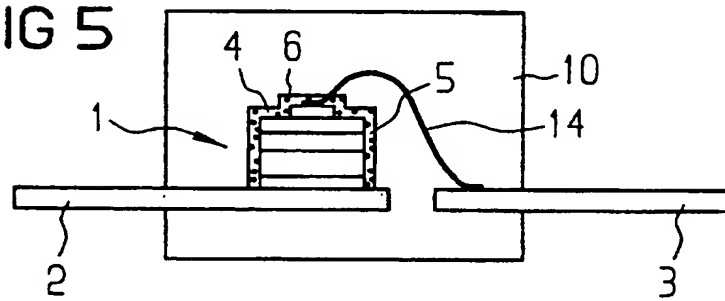
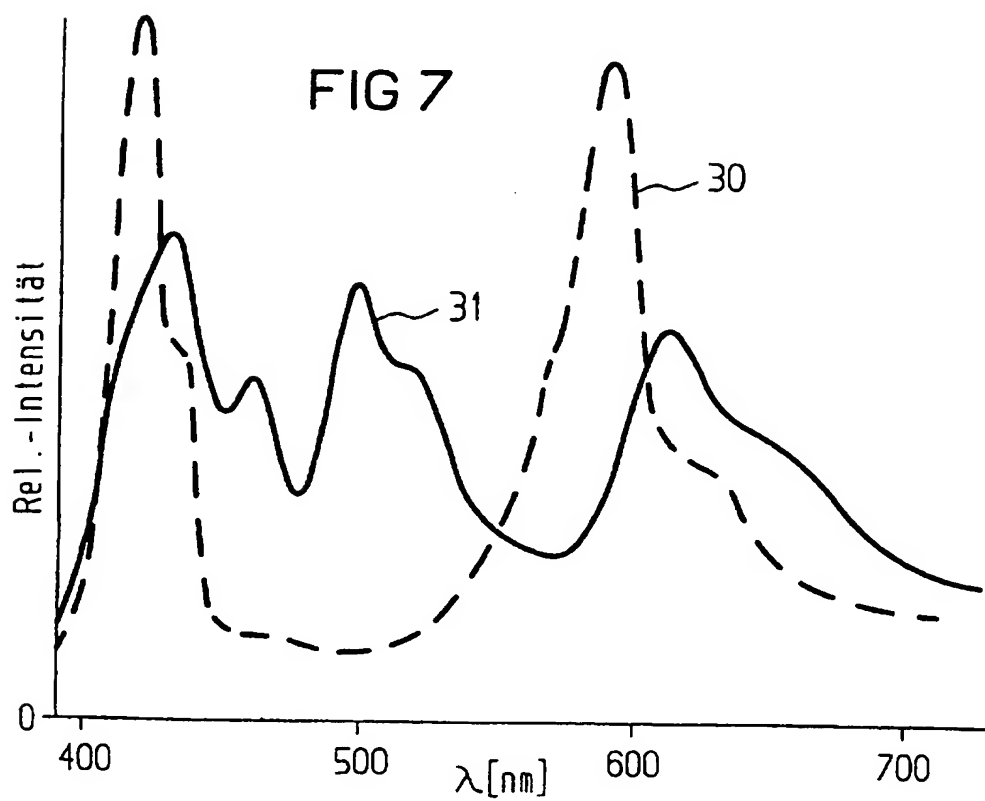
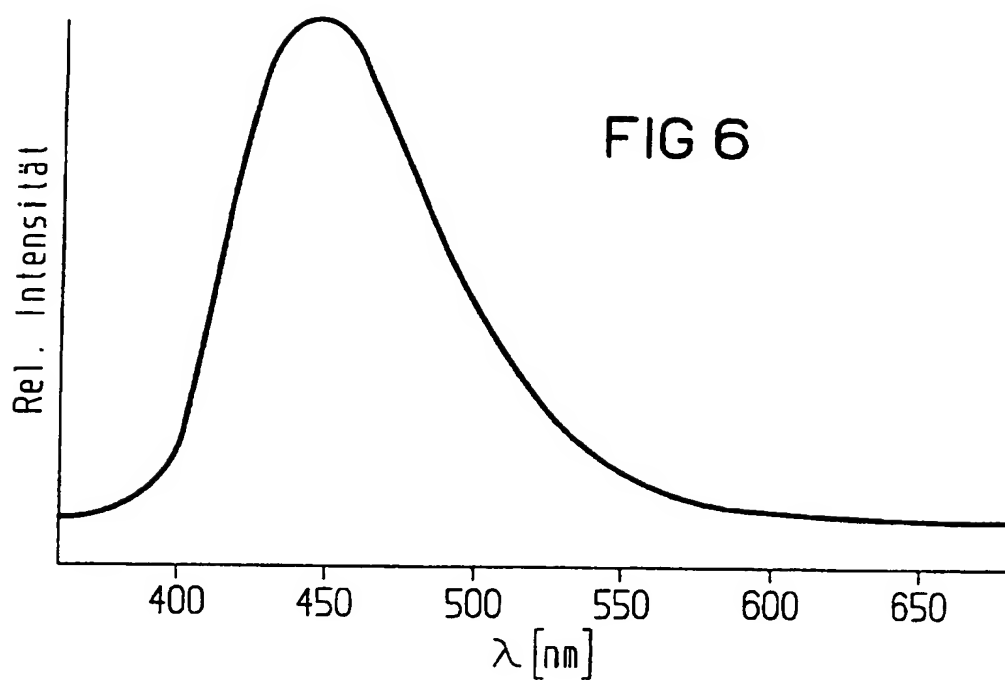


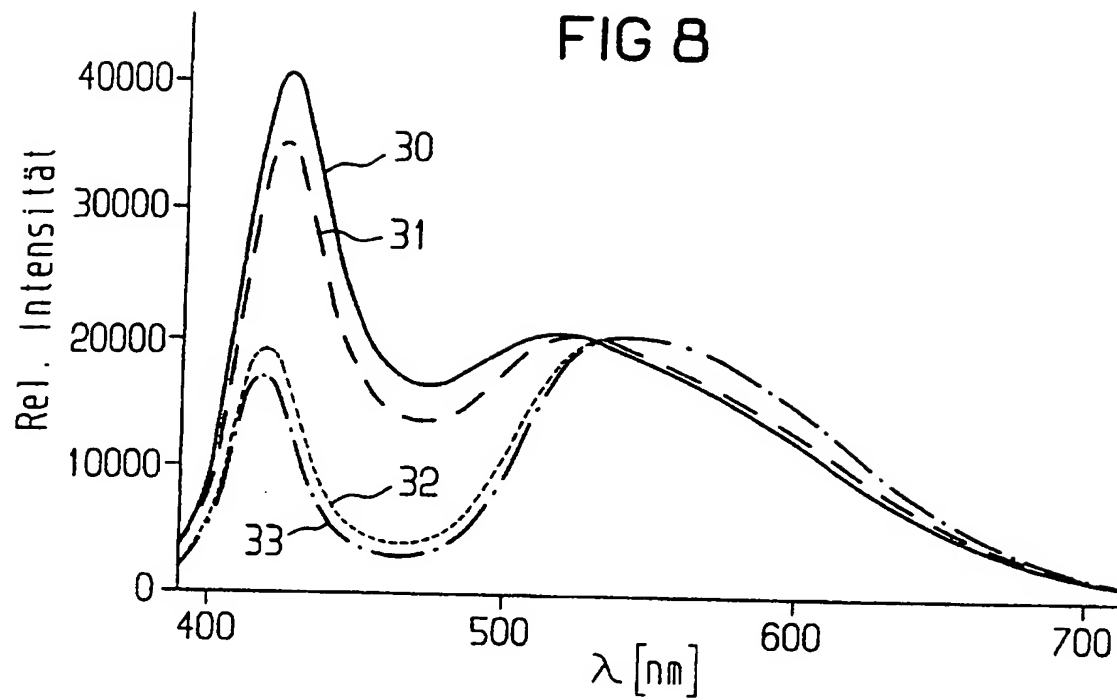
FIG 5



3/4



4/4



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 97/02139

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 H01L33/00 H01S3/19

According to International Patent Classification(IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 90 13 615 U (LICENTIA PATENT-VERWALTUNGS-GMBH) 6 December 1990 see the whole document ----	1, 13
A	DE 38 04 293 A (PHILIPS PATENTVERWALTUNG) 24 August 1989 cited in the application -----	1, 13

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 February 1998

Date of mailing of the international search report

03/03/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

De Laere, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 97/02139

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 9013615 U	06-12-90	NONE	
DE 3804293 A	24-08-89	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationale Aktenzeichen

PCT/DE 97/02139

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 6 H01L33/00 H01S3/19

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 90 13 615 U (LICENTIA PATENT-VERWALTUNGS-GMBH) 6. Dezember 1990 siehe das ganze Dokument ---	1, 13
A	DE 38 04 293 A (PHILIPS PATENTVERWALTUNG) 24. August 1989 in der Anmeldung erwähnt -----	1, 13

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"A" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. Februar 1998

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

03/03/1998

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

De Laere, A

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/02139

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 9013615 U	06-12-90	KEINE	
DE 3804293 A	24-08-89	KEINE	

## OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE COMPRISING A MULTIPLE QUANTUM WELL STRUCTURE

**Patent number:** WO0139282  
**Publication date:** 2001-05-31  
**Inventor:** HAERLE VOLKER (DE); HAHN BERTHOLD (DE); BADER STEFAN (DE); BOLAY HELMUT (DE); LUGAUER HANS-JUERGEN (DE)  
**Applicant:** HAERLE VOLKER (DE); HAHN BERTHOLD (DE); BADER STEFAN (DE); BOLAY HELMUT (DE); LUGAUER HANS JUERGEN (DE); OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH (DE)  
**Classification:**  
- **International:** H01L33/00  
- **European:** H01L33/00C3D; H01S5/343G; H01L33/00C4D3C  
**Application number:** WO2000DE04089 20001120  
**Priority number(s):** DE19991055747 19991119

**Also published as:**

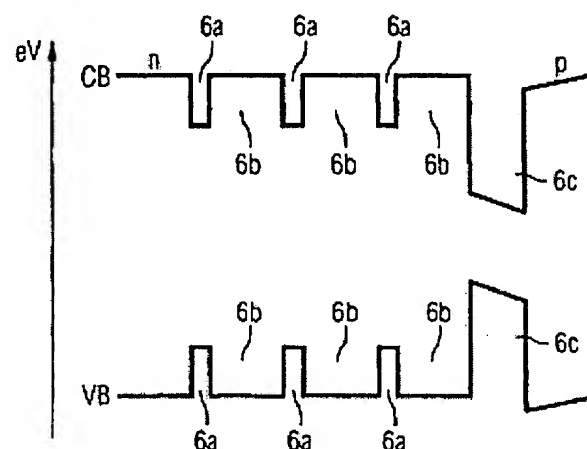
WO0139282 (A  
EP1145331 (A3  
EP1145331 (A2  
DE19955747 (A

**Cited documents:**

US5831277  
WO9831055  
EP0731510  
EP0908988  
US5684309  
more >>

**Abstract of WO0139282**

The invention relates to an optical semiconductor device comprising a multiple quantum well structure, in which well layers and barrier layers consisting of different types of semiconductor layers are stacked alternately on top of one another. The invention is characterised in that the well layers (6a) have a first composition, based on a nitride semiconductor material with a first electron energy and the barrier layers (6b) have a second composition based on a nitride semiconductor material with a higher electron energy in relation to the first electron energy. An active radiative quantum well layer (6c) is located downstream of said layers in the epitaxial direction and the essentially non-radiative well layers (6a) positioned upstream, together with the barrier layers (6b) form a superlattice for said active quantum well layer.



(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. Mai 2001 (31.05.2001)

PCT

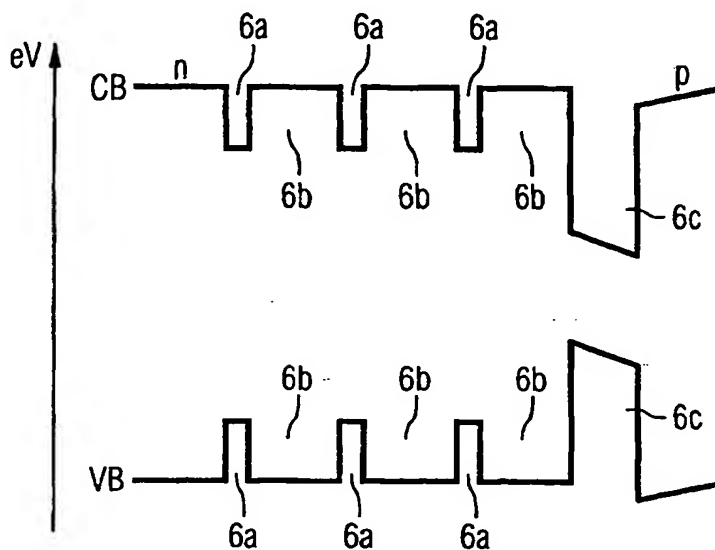
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 01/39282 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01L 33/00**
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE00/04089**
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
20. November 2000 (20.11.2000)
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**
- (30) Angaben zur Priorität:  
199 55 747.0 19. November 1999 (19.11.1999) **DE**
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH &  
CO. OHG [DE/DE]; Wernerwerkstrasse 22, 93049 Re-  
gensburg (DE).**
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HÄRLE, Volker  
[DE/DE]; Eichenstrasse 35, 93164 Laaber (DE). HAHN,  
Berthold [DE/DE]; Am Pfannenstiel 2, 93155 Hernau  
(DE). LUGAUER, Hans-Jürgen [DE/DE]; Tannenweg  
14, 93173 Wenzelbach (DE). BOLAY, Helmut [DE/DE];  
Blumenstrasse 36, 93186 Pettendorf (DE). BADER,  
Stefan [DE/DE]; Deutschherrnweg 2, 93053 Regensburg  
(DE).**
- (74) Anwalt: **EPPING HERMANN & FISCHER GBR;  
Postfach 12 10 26, 80034 München (DE).**
- (81) Bestimmungsstaaten (national): **CA, JP, KR, US.**
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): **europäisches Patent (AT,  
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE, TR).**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE COMPRISING A MULTIPLE QUANTUM WELL STRUCTURE**

(54) Bezeichnung: **OPTISCHE HALBLEITERVORRICHTUNG MIT MEHRFACH-QUANTENTOPF-STRUKTUR**



(57) Abstract: The invention relates to an optical semiconductor device comprising a multiple quantum well structure, in which well layers and barrier layers consisting of different types of semiconductor layers are stacked alternately on top of one another. The invention is characterised in that the well layers (6a) have a first composition, based on a nitride semiconductor material with a first electron energy and the barrier layers (6b) have a second composition based on a nitride semiconductor material with a higher electron energy in relation to the first electron energy. An active radiative quantum well layer (6c) is located downstream of said layers in the epitaxial direction and the essentially non-radiative well layers (6a) positioned upstream, together with the barrier layers (6b) form a superlattice for said active quantum well layer.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



**WO 01/39282 A2**

**Veröffentlicht:**

- Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

(57) **Zusammenfassung:** Optische Halbleitervorrichtung mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Barriereschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd aufeinander geschichtet sind, wobei Topfschichten (6a) einer ersten Zusammensetzung auf der Basis eines Nitrid-Halbleitermaterials mit einer ersten Elektronenenergie und Barriereschichten (6b) einer zweiten Zusammensetzung eines Nitrid-Halbleitermaterials mit gegenüber der ersten Elektronenenergie höheren Elektronenenergie vorgesehen sind, denen in Aufwuchsrichtung gesehen eine strahlungsaktive Quantentopfschicht (6c) nachgeordnet ist, für die die vorgeordneten im Wesentlichen nicht strahlenden Topfschichten (6a) und die Barriereschichten (6b) ein Übergitter bilden.

## Beschreibung

Optische Halbleitervorrichtung mit Mehrfach-Quantentopf-Struktur

5

Die Erfindung betrifft eine optische Halbleitervorrichtung mit Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Barriereschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd geschichtet sind.

10

Eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise aus der EP 0 666 624 B1 oder aus Journal of Crystal Growth 189/190 (1998) p. 786-789 bekannt.

15 Der hohe Quantenwirkungsgrad von Indium-Gallium-Nitrid- (InGaN-) -basierten LEDs und Laserdioden wird durch das selbstorganisierte Wachstum indiumreicher Inseln im aktiven Quantentrog oder Quantentopf verursacht. Dadurch werden die injizierten Ladungsträger räumlich an diesen Inseln lokalisiert und von nichtstrahlender Rekombination an Gitterdefekten abgehalten.

20

Die Nukleation dieser Quantenpunkte muß durch geeignete Pufferschichten eingeleitet werden. Insbesondere eignen sich indiumhaltige Strukturen vor der eigentlichen aktiven Zone als Pufferschicht. Indiumhaltige nitridische Halbleiter (Ga<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>In<sub>1-(x+y)</sub>N-Halbleiter) neigen zur Entmischung und Bildung von indiumhaltigen Phasen. Dies führt an der Wachstumsfläche zu variierenden Spannungsfeldern, die die Bildung indiumreicher Inseln im aktiven Quantentrog begünstigt. Ca. 100 nm dicke GaInN-Schichten können vor der aktiven Zone abgeschieden werden, um die GaInN-Quantenpunkt-Nukleation zu verbessern.

25

30

Bisher kann ein optimaler Wirkungsgrad mit z. B. 2- bis 10-fach-Quantentopf-Strukturen erreicht werden. Wie experimentell gezeigt werden kann, werden die emittierten Photonen ausschließlich in den beiden obersten (d.h. der p-Seite nächsten) Quantentrögen erzeugt. Bei geeigneter Wahl der Wachstumsparameter wird erreicht, daß die Emission ausschließlich im obersten der Quantentöpfe erfolgt. Die unteren Quantentöpfe dienen zur Verbesserung der Nukleation der GaInN-Inseln im obersten Quantentopf. Wird auf sie verzichtet, so sinkt die optische Ausgangsleistung um über 50 % ab. Allerdings führen diese Quantentöpfe zu einer erheblichen Erhöhung der Flußspannung. Die Flußspannung kann durch Verringern der Topfanzahl auf Kosten der Quanteneffizienz verbessert werden. Die Piezofelder, die zur beobachteten Erhöhung der Flußspannung führen, können durch hohe Dotierniveaus im Quantentopfbereich kompensiert werden. Dadurch wird allerdings die Kristallqualität der aktiven Schicht gestört bzw. das Injektionsverhalten verschlechtert und so die interne Quanteneffizienz verringert.

20

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine optische Halbleitervorrichtung der eingangs genannten Art demgegenüber zu verbessern.

25 Diese Aufgabe löst die Erfindung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

Erfindungsgemäß ist eine Mehrfach-Quantentopf-Struktur mit Topfschichten und Barrierschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten, die abwechselnd aufeinander geschichtet sind, vorgesehen, in der die Topfschichten dünne Schichten einer ersten Zusammensetzung auf der Basis eines Nitrid-Halbleitermaterials mit einer ersten Elektronenenergie

und die Barriereschichten demgegenüber dickere Schichten einer zweiten Zusammensetzung eines Nitrid-Halbleitermaterials mit gegenüber der ersten Elektronenenergie höheren Elektronenenergie sind. Als strahlungsaktiver Quantentopf wirkt, in  
5 Aufwachsrichtung gesehen, erst eine der letzten Quantentopfschichten oder die letzte Quantentopfschicht. Für diese bilden die vorgeordneten Topfschichten, die im Wesentlichen nicht strahlen, und die Barriereschichten ein Übergitter aus.

10 Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung sind im Übergitter die Topfschichten dünne Aluminium-Gallium-Indium-Nitrid-Schichten und die Barriereschichten demgegenüber dickere Gallium-Nitrid-Schichten und weist der aktive Quantentopf Indium-Gallium-Nitrid auf.

15 Bevorzugt nimmt innerhalb mindestens einer Topfschicht des Übergitters der In-Gehalt in Aufwachsrichtung, d. h. in Richtung zur strahlungsaktiven Quantentopfschicht hin, zu. Vorzugsweise liegt hierbei der Indium-Gehalt entfernt von der  
20 strahlungsaktiven Quantentopfschicht unterhalb 5%.

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung weist mindestens eine der Topfschichten des Übergitters mindestens ein Einzelschichtenpaar auf, von dem die in Aufwachsrichtung erste Einzelschicht einen geringeren Indium-Gehalt aufweist als  
25 die in Aufwachsrichtung zweite Einzelschicht. Vorzugsweise weist diese Topfschicht eine Mehrzahl von Einzelschichten auf, deren Indium-Gehalt ausgehend von der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht liegenden  
30 Einzelschicht zur zu der strahlungsaktiven Quantentopfschicht nächstliegenden Einzelschicht hin stufenweise zunimmt. Die Stufen der Zunahme des Indium-Gehalts sind besonders bevorzugt kleiner 5%. Weiterhin besonders bevorzugt ist der In-

dium-Gehalt der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht liegenden Einzelschicht kleiner als 5%. Vorteilhafterweise liegt die Dicke der Einzelschichten im Bereich weniger Monolagen besonders bevorzugt etwa eine Monolage.

Der besondere Vorteil der stufenweisen Zunahme des In-Gehalts besteht darin, daß ein Potentialverlauf entsteht, der einem Dreieckspotential ähnlich ist, insbesondere für den Fall, dass die Dicke der Einzelschichten die einer Monolage nicht wesentlich übersteigt. Folglich ist der Unterschied des Energieniveaus in den Barrierschichten und dem sich für ein Elektron ergebenden Energieniveau in der Topfschicht nicht größer als bei einer rechteckigen Topfschicht mit wesentlich geringerem Indium-Gehalt als die oberste Einzelschicht der gestuften Topfschicht. Dadurch wird erreicht, dass die Vorteile eines reduzierten Gesamt-Indium-Gehalts beibehalten werden, aber gleichzeitig durch den hohen Indium-Gehalt der letzten Einzelschicht die Verspannung so beeinflusst wird, dass die Nukleation von InGaN-reichen Phasen verbessert und somit die Quanteneffizienz gesteigert wird.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus folgendem: Das epitaktische Wachstum von Indium-haltigen III-V-Halbleitern (z. B. InGaAs, InGaN) wird durch den relativ großen Atomradius des Indiums erschwert. Bei konstanten Flüssen der Gruppe III-Komponenten baut sich Indium daher verzögert ein. Die Indiumkonzentration steigt während des Wachstums an und nähert sich exponentiell einem Gleichgewichtswert an. Während der Anreicherungsphase bildet sich auf der Wachstumsoberfläche eine bestimmte Indium-Bedeckung. Erst wenn diese Bedeckung erreicht ist, wird gleichbleibend viel Indium in den Kristall eingebaut. Wird allerdings zu viel Indium angeboten, formt das auf

der Oberfläche vorhandene Indium metallische Tröpfchen, die die Qualität der abgeschiedenen Schichten vermindern. Vor allem aber erzeugen solche Indium-Tröpfchen am p-n-Übergang Nebenschlüsse, die neben der Quanteneffizienz auch die Stabilität gegenüber elektrostatischer Entladung (ESD) vermindern. Diese Effekte werden dadurch vermindert, daß zunächst Indiumhaltige Schichten mit geringem Indium-Gehalt, bevorzugt weniger als 5%, abgeschieden werden, um dann bei darauffolgenden Schichten den Indiumgehalt zu steigern. Bei der aktiven Schicht selbst ist der Unterbau durch die Topfschichten dann schon derart vorbereitet, dass InGa<sub>N</sub>-Zusammensetzungen mit höherem Indium-Gehalt abgeschieden werden können.

Die Nukleation von Indium-reichen Phasen wird durch den sich erhöhenden Indium-Gehalt in der oder den Topfschichten vorteilhafterweise verbessert. Die schädliche Ausbildung von Indium-Tröpfchen wird zumindest erheblich vermindert.

Weitere vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels mit Hilfe der Figuren der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1a,b	eine schematische Darstellung des Schichtaufbaus einer Vorrichtung gemäß der Erfindung,
Figur 2	eine schematische Darstellung der Quantentopf-
Figur 3	Struktur der Vorrichtung gemäß Figur 1,
	eine schematische Darstellung der Quantentopf-
	Struktur üblicher Art, und

Figur 4 eine schematische Darstellung des Verlaufs des Leitungsbandes gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

5 Gemäß Figur 1a ist auf einem Substrat 1 aus Siliziumcarbid (SiC), an dem eine erste Kontakt-Elektrode 2 angeschlossen ist, zunächst eine Pufferschicht 3 aus Aluminium-Gallium-Nitrid (AlGaN) gebildet. Darüber schließt sich eine weitere Schicht 4 aus Aluminium-Gallium-Nitrid an. Über der Schicht 4  
10 sind eine weitere Pufferschicht 5 aus Silizium-dotiertem Galliumnitrid und darüber ist die noch näher zu erläuternde Quantentopf-Struktur 6a,b angeordnet, an die die eigentliche aktive Schicht 6c anschließt. Über der aktiven Schicht 6 ist eine weitere Schicht 7 aus Aluminium-Gallium-Nitrid angeordnet,  
15 net, die als Elektronenbarriere dient. Vorzugsweise ist diese Schicht 7 mit Magnesium dotiert. Zwischen den Schichten 6 und 7 kann eine weitere nicht gezeichnete GaN-Schicht angeordnet sein. Über der Schicht 7 ist eine Galliumnitrid-Schicht 8 angeordnet, auf der eine zweite Kontakt-Elektrode 9 der Vor-  
20 richtung vorgesehen ist.

Die rechte Seite des Schichtaufbaus zeigt schematisch angedeutet die Bandlücke der einzelnen Schichten zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband.

25

Funktionell dient die Pufferschicht 3 als Wachstumsschicht, die erforderlich ist, um auf dem Siliziumcarbid-Substrat 1 die LED-Struktur aufwachsen zu können. Die weitere Aluminium-Gallium-Nitrid-Schicht 4 zwischen den Schichten 3 und 5 hat  
30 einen sich in Richtung der Gallium-Nitrid-Schicht 5 hin ändernden Aluminiumgehalt. Die Gallium-Nitrid-Schicht 5 ist vorzugsweise siliziumdotiert. Die über der aktiven Schicht 6

angeordnete Schicht 7 aus magnesisumdotiertem Aluminium-Gallium-Nitrid dient als Elektronenbarriere.

Dieser grundsätzlicher Aufbau der Figur 1a kann standardmäßig  
5 für Gallium-Aluminium-Indium-Nitrid (LEDs) verwendet werden.

Figur 1b ist eine vergrößerte Darstellung der aktiven Schicht  
6 gemäß der Erfindung. Die Schicht mit der Quantentopf-Struktur  
6 ist aufgebaut, indem zwischen einzelnen Gallium-Nitrid-  
10 (GaN-)Schichten 6b Schichten 6a aus Gallium-Indium-Nitrid  
(GaInN) angeordnet sind. Die eigentlich aktive, d.h. lichtab-  
strahlende Schicht 6c aus Gallium-Indium-Nitrid (GaInN)  
schließt sich an die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b an.

15 Wie ersichtlich, wechseln sich unterschiedlich dicke Schichten  
6a und 6b ab. Die dünneren Schichten 6a aus Indium-Gallium-  
Nitrid und die dickeren Schichten 6b aus Gallium-Nitrid  
bilden dabei Übergitter, bei denen die Töpfe 6a dünn sind, d.  
h. dünner als 3 nm und die Schichten 6b 3nm und darüber. Die  
20 Herstellung der Schichten erfolgt durch Gasphasen- oder Mole-  
kularstrahlepitaxie. Dabei ist ein langsames Wachstum von 1-10  
nm/min, bevorzugt 1-2nm/min, bei niedrigen Temperaturen um  
700 C° vorgesehen.

25 Der Indiumgehalt liegt unter 24%, vorzugsweise jedoch unter  
20 % und ist deshalb vorzugsweise gegenüber üblichen Indium-  
gehalten reduziert. Die in der Figur nur einmal gezeichneten  
Schichten 6a und 6b können mehrmals übereinander angeordnet  
sein, vorzugsweise wiederholt sich die Struktur x=3mal. An  
30 die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b schließt sich die ei-  
gentlich aktive, d. h. leuchtende Schicht 6c aus Indium-Gal-  
lium-Nitrid an.

Vorzugsweise kann vorgesehen sein, die Quantentopfstruktur 6a, 6b mit Silizium in der Konzentration  $10^{17}$  bis  $10^{18}\text{cm}^{-3}$  zu dotieren. Damit ergibt sich noch einmal eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu einer undotierten Struktur.

5

Figur 2 zeigt die Energieverhältnisse für das Valenzband VB und das Leitungsband CB. In Ordinatendrichtung ist die Elektronenenergie aufgetragen, in Abszissenrichtung sind die Quantentöpfe mit einer Breite, die der Schichtdicke entsprechen, aufgetragen. An die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b schließt sich die tatsächlich aktive Schicht 6c an.

10

Figur 3 zeigt demgegenüber das Valenzband mit dickeren Quantentöpfen aus Gallium-Indium-Nitrid als bei der Erfindung. Durch die Schrägen angedeutet, ist der Effekt der piezoelektrischen Felder, die sich durch die Verspannungen ergeben.

15

Durch die erfindungsgemäße Verwendung von GaInN/GaN-Übergittern mit dünnen Töpfen (bis ca. 2 nm Quantentopfbreite) bei einem Schichtaufbau gemäß Figur 1 und Quantentopf-Verhältnissen gemäß Figur 2 kann die Flußspannung deutlich gesenkt werden und dabei die hohe interne Quanteneffizienz der Indium-Gallium-Nitrid-basierten optischen Halbleitervorrichtung erhalten werden. Die sich sonst ausbildenden Piezofelder werden ganz vermieden oder wirken sich praktisch nicht mehr aus. Im Vergleich zu herkömmlichen Einfach-Quantentopf-Strukturen, bei denen vor dem aktiven Topf kein Gallium-Indium-Nitrid-Übergitter abgeschieden wird, zeigt der erfindungsgemäße Vorrichtungsaufbau einen verdoppelten Konversionswirkungsgrad.

25

30

Unter Übergitter versteht man allgemein eine insbesondere periodische Aufeinanderfolge von nur wenigen Atomlagen dicken Schichten. Das Übergitter wird vom aktiven Trog durch eine

GaN- oder AlGaN-Barriere getrennt ( $>3\text{nm}$ ). Die Silizium-Dotierung der Quantentopfstruktur ist deutlich verbessert im Vergleich zur undotierten Struktur.

- 5 Im Vergleich mit bekannten Übergitterstrukturen hat der erfindungsgemäße Vorrichtungsaufbau eine um  $>0,5\text{V}$  gesenkte Flußspannung.

10 Im Vergleich zu SQW(Single Quantum Well)-Strukturen, vor deren aktivem Quantentopf kein GaInN Übergitter abgeschieden wurden, konnte der Konversionswirkungsgrad verdoppelt werden.

Durch die Kombination von dünnen, auch indiumarmen, optisch inaktiven Quantentrögen („Pre-Wells“) mit einem aktiven Quantentopf 6c kann das Emissionsverhalten der bisher bekannten Mehrfach-Quantentopf-Strukturen erhalten und die Flußspannung gesenkt werden. Die dünnen GaInN-Quantentöpfe verbessern die Qualität des aktiven Quantentopfs, während durch die geringe Schichtdicke der „Pre-Wells“ und ihrem niedrigen Indiumgehalt die Ausbildung von störenden Piezofeldern verringert wird. Die Flußspannung wird daher durch diese Nukleationsschicht gegenüber einer SQW-Struktur nicht erhöht.

Die Figur 4 zeigt den Verlauf des Leitungsbandes in einer InGaN-Topfschicht 6a zwischen zwei GaN-Barriereschichten, wobei die GaN-Topfschicht 6a aus insgesamt 4 Einzelschichten 60a bis 63a besteht. Der Indium-Gehalt nimmt ausgehend von der am weitesten entfernt von einer strahlungsaktiven Quantentopfschicht 6c liegenden Einzelschicht 60a zur zu der strahlungsaktiven Quantentopfschicht 6c nächstliegenden Einzelschicht 63a hin stufenweise zu. Die Stufen der Zunahme des Indium-Gehalts sind kleiner 5% und der Indium-Gehalt der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopf-

schicht 6c liegenden Einzelschicht 60a ist kleiner als 5%. Die Schichtdicke jeder der Einzelschichten 60a bis 63a liegt im Bereich weniger Monolagen oder entspricht etwa einer Monolage der Zusammensetzung.

5

Dadurch entsteht ein Potentialverlauf, der einem Dreieckspotential ähnlich ist. Folglich ist der Unterschied des Energieniveaus in den Barriereschichten und dem sich für ein Elektron ergebenden Energieniveau in der gestuften Topf-

10 schicht nicht größer als bei einer rechteckigen Topfschicht (in der Figur auf der rechten Seite dargestellt) mit wesentlich geringerem Indium-Gehalt als die oberste Einzelschicht der gestuften Topfschicht. Dadurch wird erreicht, dass die Vorteile eines reduzierten Gesamt-Indium-Gehalts beibehalten  
15 werden, aber gleichzeitig durch den hohen Indium-Gehalt der letzten Einzelschicht die Verspannung so beeinflusst wird, dass die Nukleation von InGaN-reichen Phasen verbessert und somit die Quanteneffizienz gesteigert wird.

20 Die Beschreibung der Erfindung anhand des obigen Ausführungsbeispiels ist selbstverständlich nicht als Beschränkung der Erfindung hierauf zu verstehen. Die Erfindung bezieht sich vielmehr auch auf Vorrichtungen in anderen Materialsysteme, in denen gleichgelagerte Probleme zu lösen sind.

## Patentansprüche

1. Optische Halbleitervorrichtung mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Barriereschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd aufeinander geschichtet sind, wobei  
5 Topfschichten (6a) einer ersten Zusammensetzung auf der Basis eines Nitrid-Halbleitermaterials mit einer ersten Elektronenenergie und Barriereschichten (6b) einer zweiten Zusammensetzung eines Nitrid-Halbleitermaterials mit gegenüber der  
10 ersten Elektronenenergie höheren Elektronenenergie vorgesehen sind, denen in Aufwachsrichtung gesehen eine strahlungsaktive Quantentopfschicht (6c) nachgeordnet ist, für den die vorgeordneten im Wesentlichen nicht strahlenden Topfschichten (6a)  
15 und die Barriereschichten (6b) ein Übergitter bilden.
2. Optische Halbleitervorrichtung nach Patentanspruch 1, bei der die Topfschichten (6a) dünne Aluminium-Indium-Gallium-Nitrid-Schichten und die Barriereschichten (6b) demgegenüber  
20 dickere Gallium-Nitrid- oder Aluminium-Gallium-Nitrid-Schichten sind und der strahlungsaktive Quantentopf (6c) eine Indium-Gallium-Nitrid-Schicht ist.
3. Optische Halbleitervorrichtung nach Patentanspruch 1 oder  
25 2, bei der sich der strahlungsaktive Quantentopf (6c) an die oberste Barriereschicht (6b) anschließt.
4. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 3, bei der die Schichtdicke des strahlungsaktiven Quantentopfs (6c) größer ist als die Schichtdicke der  
30 Topfschichten (6a) des Übergitters.

5. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 4, bei der die Topfschichten (6a) dünner als 2nm sind und die Barrierschichten (6b) 3nm-dick oder dicker sind.

5

6. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 2 bis 5, bei der die Topf- und Barrierschichten (6a, 6b) mit Silizium dotiert sind.

10 7. Optische Halbleitervorrichtung nach Patentanspruch 6, bei der die Dotierstoffkonzentration von  $10^{17}$  bis  $10^{18}\text{cm}^{-3}$  ist.

8. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, bei der innerhalb mindestens einer Topfschicht (6a) des Übergitters der In-Gehalt in Aufwuchsrichtung, d. h. in Richtung zur strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) hin, zunimmt.

9. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 8, bei der in der Topfschicht (6a) der Indium-Gehalt entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht unterhalb 5% liegt.

10. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, bei der mindestens eine der Topfschichten (6a) des Übergitters mindestens ein Einzelschichtenpaar (60a, 61a) aufweist, von dem die in Aufwuchsrichtung erste Einzelschicht (60a) einen geringeren Indium-Gehalt aufweist als die in Aufwuchsrichtung zweite Einzelschicht (61a).

11. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 10, bei der die zweite Einzelschicht (61a) einen um weniger als 5% höheren Indium-Gehalt aufweist als die erste Einzelschicht (60a).

12. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 10 oder 11,  
bei der die Topfschicht eine Mehrzahl von Einzelschichten  
(60a,61a,62a,63a) aufweist, deren Indium-Gehalt ausgehend von  
der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quanten-  
5 topfschicht (6c) liegenden Einzelschicht (60a) zur zu der  
strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) nächstliegenden  
Einzelschicht (63a) hin stufenweise zunimmt.

13. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 12, bei der  
10 die Stufen der Zunahme des Indiumgehalts kleiner 5% sind.

14. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche  
10 bis 13, bei der der Indium-Gehalt der am weitesten ent-  
fernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) lie-  
15 genden Einzelschicht (60a) kleiner als 5% ist.

15. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche  
10 bis 14, bei der die Dicke jeder der Einzelschichten  
(60a,61a,62a,63a) im Bereich weniger Monolagen liegt oder  
20 etwa einer Monolage entspricht.

FIG 1a

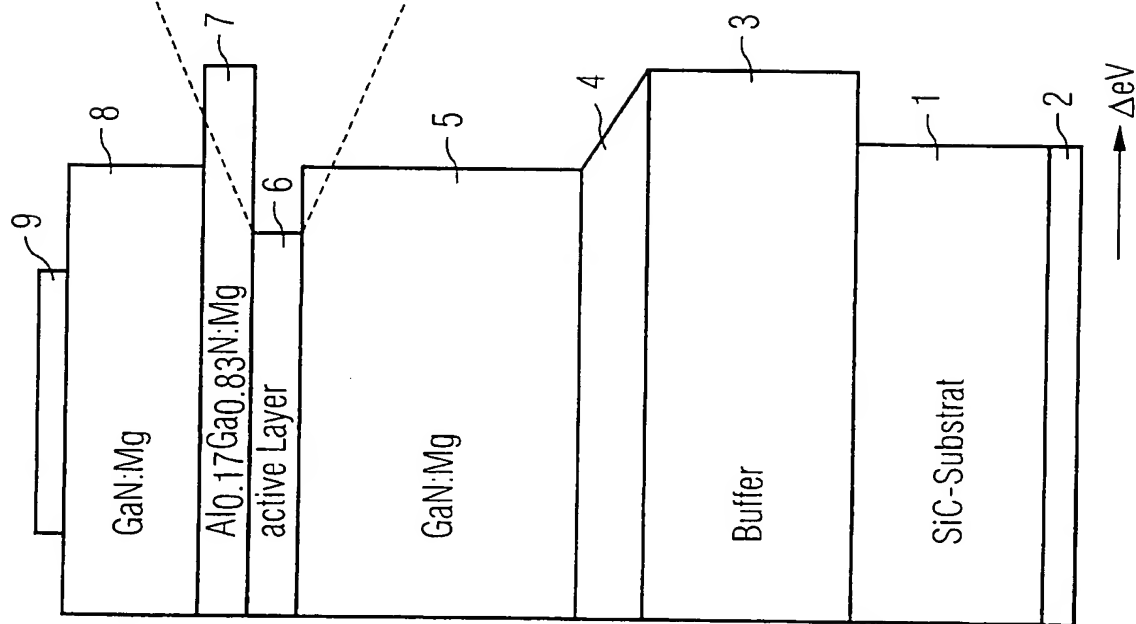


FIG 1b

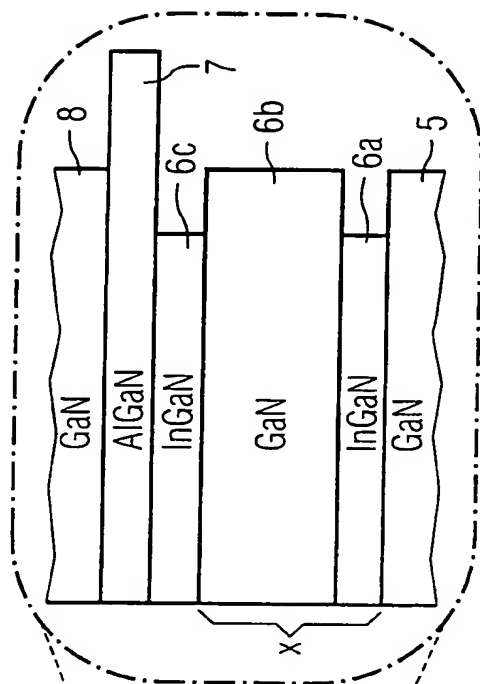


FIG 2

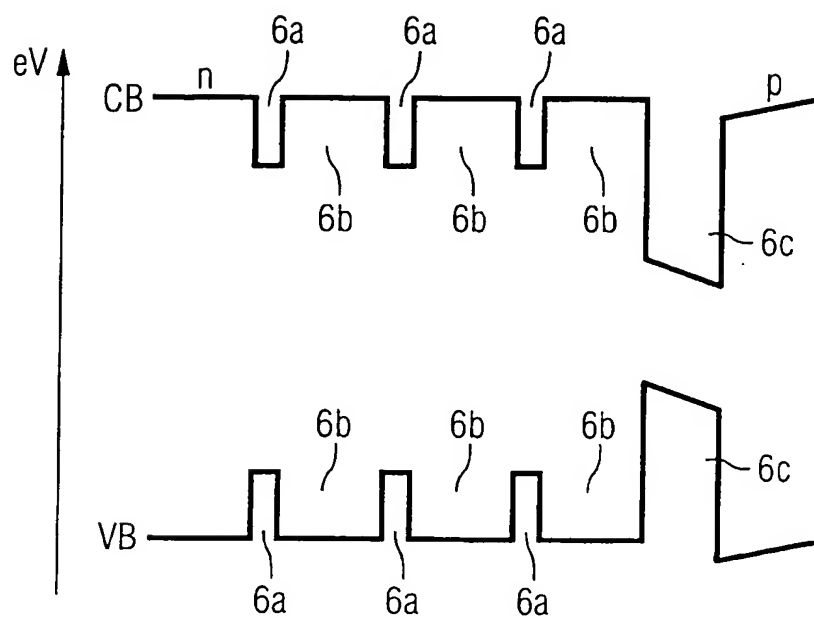


FIG 3

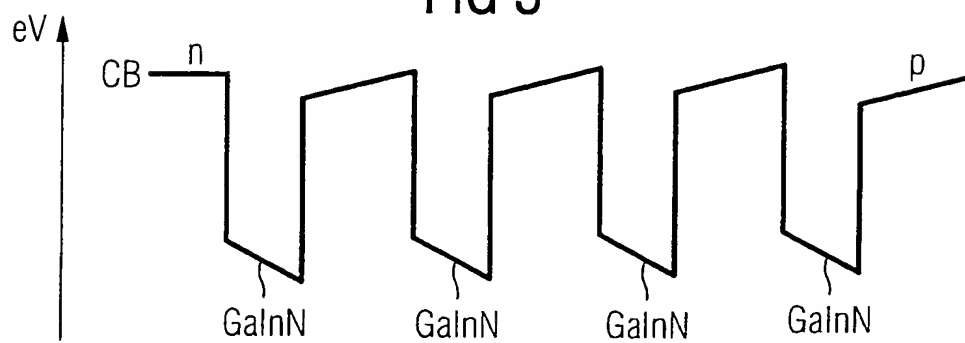


FIG 4

